Lista de Exercícios 1: Teoria e Aplicação de Diodos

Março de 2026

Formulário de Apoio

Considere as seguintes constantes e equações fundamentais para a resolução:

- **Equação de Shockley:** $I_D = I_s \left(e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1 \right)$
- **Tensão Térmica:** $V_T = \frac{kT}{q} \approx 26$ mV (a 300 K)
- **Conversão de Temperatura:** $T_K = T_C + 273$
- **Potência no Zener:** $P_Z = V_Z I_Z$
- **Relações no Regulador Zener:**
  - $I_R = I_Z + I_L$
  - $V_R = V_i - V_L$
  - $I_R = \frac{V_i - V_Z}{R_s}$

Questões Selecionadas

Questão 1: **a)** Determine a tensão térmica (V_T) de um diodo a uma temperatura de 20 °C.

b) Para o mesmo diodo, determine a corrente I_D usando a Equação de Shockley, dados $I_s = 40$ nA, $n = 2$ e $V_D = 0,5$ V.

Questão 2: Repita a questão anterior considerando $T = 100$ °C e que a corrente de saturação reversa aumentou para $I_s = 5,0$ μA.

Questão 3: Determine a corrente de diodo a 20 °C para um diodo de silício ($n = 2$, $I_s = 0,1$ μA) sob polarização reversa de -10 V. O resultado condiz com o modelo ideal?

Questão 4: Com $I_D = 8$ mA, $n = 1$ e $T = 25$ °C, determine o valor da corrente de saturação reversa (I_s) para uma tensão aplicada de $0,5$ V.

Questão 5: Se $I_D = 6$ mA, $V_T = 26$ mV, $n = 1$ e $I_s = 1$ nA, qual é a tensão V_D aplicada ao diodo?

Questão 6: A corrente de saturação de um diodo de silício é $0,1$ μA a 20 °C. Determine seu valor aproximado se a temperatura ambiente subir 40 °C.

Questão 7: Para o circuito da Figura 2.186, determine V_L, I_L, I_Z e I_R considerando:

a) $R_L = 180\ \Omega$.

b) $R_L = 470\ \Omega$.

c) O valor de R_L que estabelece a potência máxima no Zener.

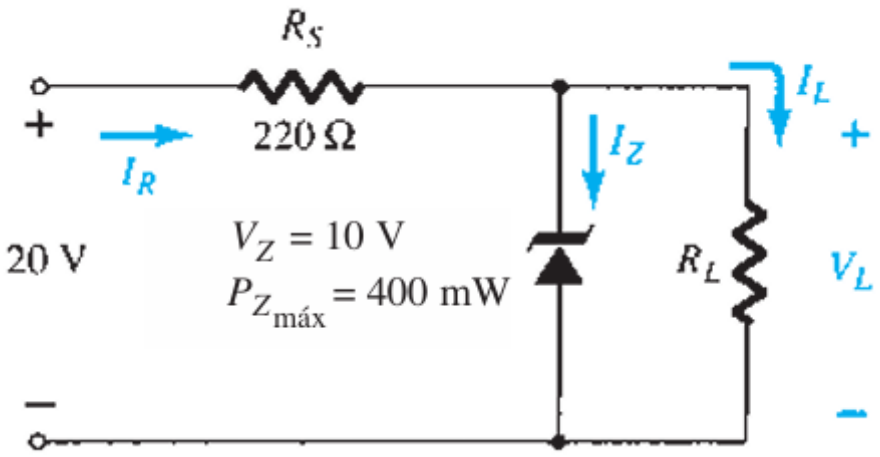

Figura 1: Circuito Regulador Zener - Figura 2.186 do livro Boylestad.

Questão 8: Projete o circuito da Figura 2.187 para manter $V_L = 12$ V com variação de carga (I_L) entre 0 e 200 mA. Determine R_s, V_Z e a potência P_{Zmax}.

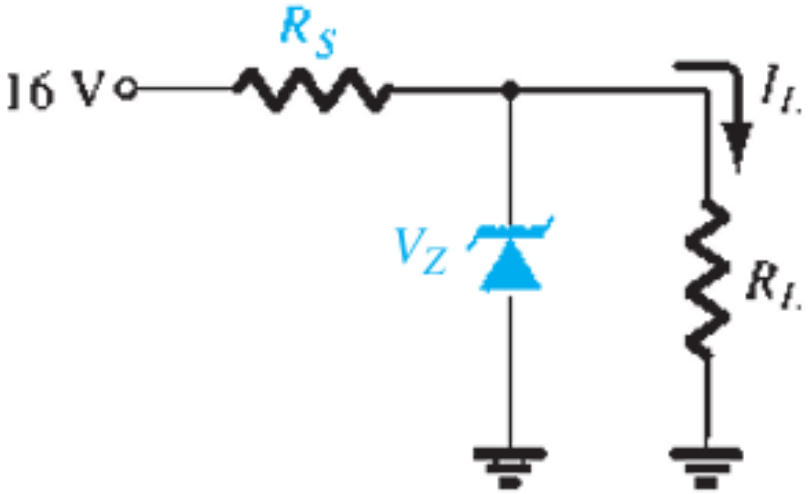

Figura 2: Circuito Regulador Zener - Figura 2.187 do livro Boylestad.

Questão 9: Para o circuito da Figura 2.188, determine a faixa de valores de V_i que manterá a saída V_L regulada em 8 V sem exceder a potência nominal do diodo Zener.

Questão 10: Projete um regulador para $V_{out} = 20$ V com carga de 1 kΩ, onde a entrada varia entre 30 V e 50 V. Defina R_s e a corrente máxima I_{ZM}.

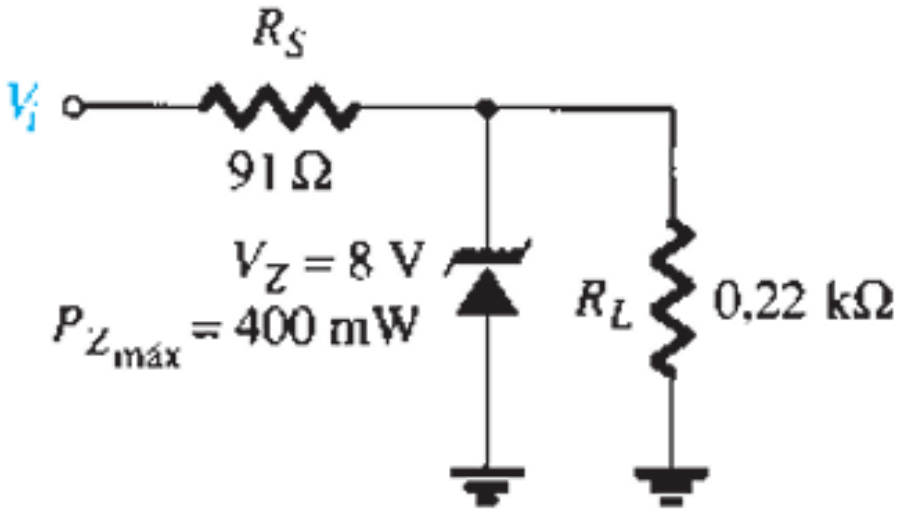

Figura 3: Circuito Regulador Zener - Figura 2.188 do livro Boylestad.

Gabarito Detalhado: Análise e Resolução

Questão 1: Análise de Sensibilidade Térmica

- **a)** $T_K = 20 + 273 = 293$ K $\implies V_T = \frac{1{,}38\times10^{-23}\cdot 293}{1{,}6\times10^{-19}} \approx \mathbf{25,27}$ mV.
- **b)** $I_D = 40$ nA $\cdot\, (e^{0{,}5/(2\cdot 0{,}02527)} - 1) \approx \mathbf{789,24}$ μA.
- *Insight:* Note que a tensão térmica V_T define a inclinação da curva característica do diodo; pequenas variações na temperatura alteram significativamente a condução.

Questão 2: Efeito do Aquecimento na Condução

- $T_K = 373$ K $\implies V_T \approx 32,17$ mV.
- $I_D = 5$ μA $\cdot\, (e^{0{,}5/(2\cdot 0{,}03217)} - 1) \approx \mathbf{11,83}$ mA.
- **Comentário:** O aumento da temperatura elevou a corrente em ordem de magnitude, evidenciando o coeficiente negativo de temperatura dos semicondutores.

Questão 3: Polarização Reversa e Modelagem

- $V_D = -10$ V $\implies e^{V_D/nV_T} \ll 1 \implies I_D \approx -I_s = \mathbf{-0,1}$ μA.
- **Análise:** Diferente do modelo ideal ($I_{rev} = 0$), o modelo de Shockley prevê a corrente de saturação reversa, crucial para projetos de baixa potência.

Questão 4: Extração de Parâmetros: Corrente de Saturação

- $I_s = \frac{I_D}{e^{V_D/nV_T}-1} = \frac{8\text{ mA}}{e^{0{,}5/0{,}026}-1} \approx \mathbf{35,7}$ pA.
- *Nota:* Este valor extremamente baixo de I_s é típico de diodos de silício modernos em temperatura ambiente.

Questão 5: Cálculo da Tensão de Barreira (V_D)

- $V_D = nV_T \ln\left(\frac{I_D}{I_s} + 1\right) = 26\text{ mV} \cdot \ln\left(\frac{6\text{ mA}}{1\text{ nA}} + 1\right) \approx \mathbf{0,405}$ V.

Questão 6: Regra Prática de Temperatura

- Para cada 10 °C de aumento, I_s aproximadamente dobra.
- $\Delta T = 40$ °C $\implies$ 4 dobros $\implies I_{s,novo} = 0,1\ \mu\text{A} \cdot 2^4 = \mathbf{1,6}\ \mu$A.

Questão 7: Análise do Regulador Zener (Figura 2.186)

- **a)** Divisor de tensão: $V_{Th} = 20 \cdot \frac{180}{400} = 9$ V. Como $V_{Th} < V_Z$, o Zener está em **corte (OFF)**. Logo, $V_L = V_{Th} = \mathbf{9}$ V e $I_Z = \mathbf{0}$.
- **b)** $V_{Th} = 20 \cdot \frac{470}{690} \approx 13,6$ V $> V_Z$. Zener em **condução (ON)**. $V_L = V_Z = \mathbf{10}$ V.
- Correntes: $I_R = \frac{20-10}{220} \approx 45,5$ mA; $I_L = \frac{10}{470} \approx 21,3$ mA $\implies I_Z = I_R - I_L = \mathbf{24,2}$ mA.
- **c)** Para $P_{Zmax} = 400$ mW $\implies I_{Zmax} = 40$ mA. $I_{Lmin} = I_R - I_{Zmax} = 5,5$ mA $\implies R_{Lmax} \approx \mathbf{1818\ \Omega}$.

Questão 8: Projeto de Regulador para Carga Variável

- Para manter $V_L = 12$ V, fixamos $V_Z = \mathbf{12}$ V.
- $R_s = \frac{V_i - V_Z}{I_{Lmax}} = \frac{16-12}{200\text{ mA}} = \mathbf{20\ \Omega}$.
- $P_{Zmax} = V_Z \cdot I_R = 12\text{ V} \cdot 200\text{ mA} = \mathbf{2,4}$ W.

Questão 9: Faixa de Operação da Tensão de Entrada (Figura 2.188)

- $I_L = 8\text{ V}/220\ \Omega \approx 36,36$ mA.
- $V_{i,min} = 8 + (36,36\text{mA} \cdot 91) \approx \mathbf{11,31}$ V.
- $I_{Zmax} = 50$ mA $\implies I_{Rmax} = 86,36$ mA $\implies V_{i,max} = 8 + (86,36\text{mA} \cdot 91) \approx \mathbf{15,86}$ V.

Questão 10: Dimensionamento de Regulador sob Oscilação de Entrada

- Carga: $I_L = 20\text{ V}/1\text{ k}\Omega = 20$ mA.
- Para garantir regulação em $V_{i,min} = 30$V: $R_s = \frac{30-20}{20\text{ mA}} = \mathbf{500\ \Omega}$.
- Em $V_{i,max} = 50$V: $I_{Rmax} = \frac{50-20}{500} = 60$ mA $\implies I_{ZM} = 60 - 20 = \mathbf{40}$ mA.